

# 破碎区段管缝式锚杆支护应用研究

司呈斌,张旭鹏,戴江林,赵春刚,韩春雨

山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿,山东 莱州 261441

**摘要:**管缝式锚杆作为一种支护方式,因具有岩体类型适应性强、及时施加主动预应力以及安装效率高等诸多优点而广泛应用于我国采矿地下工程支护的实践中。结合焦家金矿寺庄矿区生产实际,从RMR岩体质量分级和弹性力学观点出发,分析了管缝式锚杆径向和轴向应力状态。介绍了寺庄矿区推广使用管缝式锚杆进行围岩主动支护情况,实践表明,管缝式锚杆对于岩金矿床岩体具有良好的锚固支护效果,可为同类型相似矿山提供借鉴。

**关键词:**管缝式锚杆;支护;破碎;寺庄矿区

**中图分类号:**TD355 **文献标识码:**B **文章编号:**1005-2518(2013)03-0069-04

**引用格式:**司呈斌,张旭鹏,戴江林,等.破碎区段管缝式锚杆支护应用研究[J].黄金科学技术,2013,21(3):69-72.

锚杆支护具有支撑和加固2种效用,它将支承载荷作用于岩体,加强围岩的稳定性,发挥围岩的自承能力和支撑能力,以达到控制地下工程围岩变形及岩块塌落的作用<sup>[1]</sup>。管缝式锚杆(Split-set bolt)是由美国密苏里州的Scott于1973年发明的<sup>[2-4]</sup>。近年来,这种管缝式锚杆作为一种支护方式,广泛应用于我国采矿地下工程支护的实践中。与其他类型的支护方式相比,管缝式锚杆支护具有岩体类型适应性强、及时施加主动预应力以及安装效率高等诸多优点。结合焦家金矿寺庄矿区的生产实际,介绍了寺庄矿区采场和井巷工程破碎区段岩体推广使用管缝式锚杆进行围岩主动支护情况。实践表明,管缝式锚杆对于岩金矿床岩体具有良好的锚固支护效果,可为同类型矿山提供借鉴。

## 1 寺庄矿区概况

### 1.1 工程概况

山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿寺庄矿区是一座新近开发的黄金矿山。矿区位于胶东半岛西北部,海拔标高38~45 m。东部及南部为低山丘陵,北部和西部为朱桥河冲积平原<sup>[5-7]</sup>。矿体主要赋存于黄铁绢英岩化碎裂岩中,上盘围岩主要为绢英岩化花岗质碎裂岩,下盘围岩主要为黄铁绢英岩化花岗岩。

矿区目前采用的采矿方法为上向水平机械化进路充填采矿法。该方法的主要特征是在矿块中划分分层,在分层中按一定规律划分进路,类似于巷道掘进,逐条进行回采,当进路回采完毕后,构筑板墙进行进路的充填接顶,直到分层回采结束,然后转向上一分层的回采,直到矿块回采完毕。

在进行井巷工程掘进与采场回采过程中,矿压显现是必然现象,必须寻求适合寺庄矿区生产实际的围岩支护方式,确保对矿体的安全高效回采。

### 1.2 岩体质量评价

通过对国内外工程岩体稳定性进行对比分析<sup>[8-9]</sup>,结合寺庄矿区的实际工程情况,采用RMR岩体质量分级系统方法对破碎区段岩体进行评价,以期为寺庄矿区矿山工程后期的工程支护提供可靠准确的参考。

以寺庄矿区7号脉破碎区段为例,通过现场工程地质调查、节理裂隙统计和必要的试验测试等方法,获得了7号脉破碎区段全面、系统且可靠的评价基础数据,按照RMR岩体质量分级系统方法对岩体进行了评价分级。7号脉破碎区段岩体评价结果见表1。

## 2 管缝式锚杆应力分析

管缝式金属锚杆是采用高强度金属板卷压成沿全长纵向开缝的长钢管状杆体,属全长摩擦类型锚

表1 寺庄矿区7号脉岩体RMR评价

项目	岩石抗压强度 指标值( $R_1$ )	岩石质量指 标值( $R_2$ )	节理间距指 标值( $R_3$ )	节理状态指 标值( $R_4$ )	地下水状态 指标值( $R_5$ )	节理方向修正 指标值( $R_6$ )	RMR 指标值
上盘	7	15.0	14.0	22	15	-2	71.0
矿体	7	13.5	15.8	18	9	-4	59.3
下盘	6	11.5	14.4	14	3	-6	42.9

收稿日期:2013-01-01;修订日期:2013-03-17.

作者简介:司呈斌(1984-),男,山东郓城人,助理工程师,从事矿山采矿生产技术管理工作.li8259220@163.com

杆,主要靠管壁与钻孔壁之间的摩擦力起锚固作用。采用外力将锚杆安装入较其直径小的钻孔时,钢管的弹性使其外壁挤压钻孔壁产生沿钢管全长分布的径向力。同时,由于锚杆外端金属托盘产生的即时预应力使被支护围岩处于三向应力状态<sup>[10]</sup>(图1),最终工程支护起到了加固围岩、柔性抑制围岩移动和实现围岩自支撑效应的作用。由于地下工程围岩性质不同,节理裂隙分布存在差异,实现围岩的自支撑效应时对锚固力大小的要求也各有差异。因此,有必要对管缝式锚杆在拉拔力作用下的受力情况进行分析,从而为工程支护设计提供理论依据。

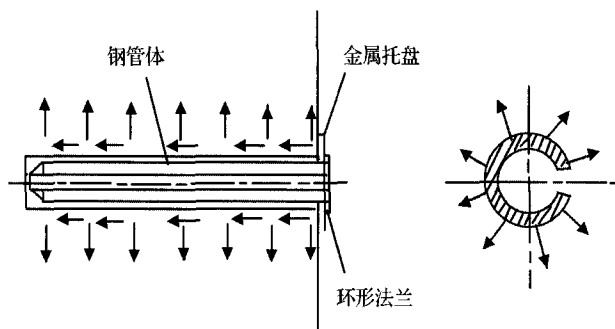


图1 管缝式锚杆示意图

### 2.1 锚杆径向应力

图2为管缝式锚杆横截面。取锚杆轴向单位长度,设支护岩体与锚杆之间的作用力沿径向均匀分布,径向力 $P$ 产生的弯矩<sup>[11-12]</sup>:

$$M(\theta) = \int_{\theta_0}^{\theta} P \cdot r_1^2 \cdot \sin(\theta - \alpha) d\alpha = P \cdot r_1^2 \cdot [1 - \cos(\theta - \theta_0)] \quad (1)$$

式中, $\theta_0$ 为管缝式锚杆安装前的开缝角; $r_1$ 为管缝式锚杆安装前的外径。

管缝式锚杆安装后,达到新的应力平衡状态。此时,管缝式锚杆径向应力 $P$ 产生的弹性应变能:

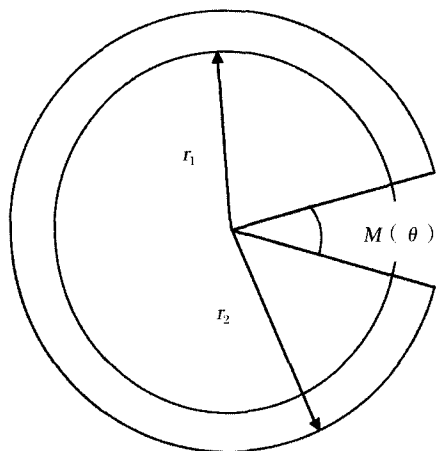


图2 管缝式锚杆横截面

$$\begin{aligned} U &= \int_1 \frac{M(\theta)^2}{2EI} d\theta \\ &= \frac{P^2 \cdot r_1^5}{2EI} \int_{\theta_0}^{2\pi - \theta_0} [1 - \cos(\theta - \theta_0)]^2 d\theta \\ &= \frac{P^2 \cdot r_1^5}{2EI} [3(\pi - \theta_0) + 2\sin 2\theta_0 - \frac{\sin 4\theta_0}{4}] \quad (2) \end{aligned}$$

式中: $E$ 为管缝式锚杆弹模; $I$ 为锚杆横截面惯性矩。

同理,锚杆在径向力 $P$ 沿径向变形时所做的功:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \int P \cdot (r_1 - r_2) dl \\ &= \frac{1}{2} \int_{\theta_0}^{2\pi - \theta_0} P \cdot r_1 (r_1 - r_2) d\theta \\ &= P \cdot r_1 (r_1 - r_2) (\pi - \theta_0) \quad (3) \end{aligned}$$

式中, $r_2$ 为锚杆支护钻孔半径, $l$ 为管缝式锚杆周长。

管缝式锚杆安装过程达到新的平衡态,锚杆与围岩共同作用形成新的平衡体系,变形过程遵循能量守恒: $W=U$ 。

因此,管缝式锚杆支护径向应力:

$$P = \frac{8EI(r_1 - r_2)(\pi - \theta_0)}{r_1 [12(\pi - \theta_0) + 8\sin 2\theta_0 - \sin 4\theta_0]} \quad (4)$$

### 2.2 锚杆轴向应力

研究表明<sup>[13-14]</sup>,在拉拔荷载 $F$ 作用下,管缝式锚杆剪应力分布如如图3所示。当 $0 \leq x \leq x_1$ 时,围岩与锚杆之间的接触界面的剪切应力可以近似为最大静摩擦力,此时围岩与锚杆发生滑移。当 $x_1 \leq x$ 时,围岩与锚杆之间的接触界面的剪切应力以近似指数方式衰减。

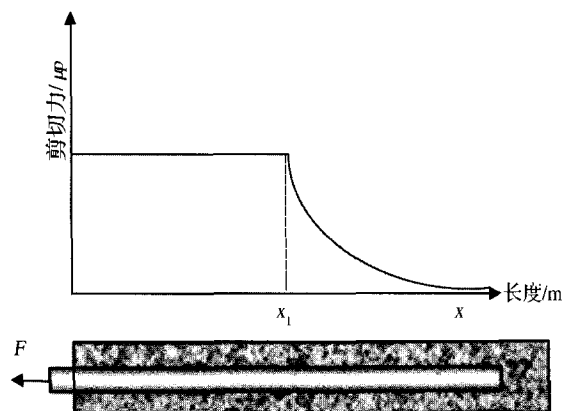


图3 管缝式锚杆剪应力分布

(1) 当 $0 \leq x \leq x_1$ 时:

$$\tau(x)=\mu P \quad (5)$$

$$\sigma(x)=\frac{F-2\pi r_2 \mu P x}{A} \quad (6)$$

式中: $F$ 为拉拔荷载; $\mu$ 为管缝式锚杆与围岩之间的摩擦系数; $A$ 为钻孔横截面积。

(2) 当  $x_1 \leq x$  时:

$$\tau(x)=\mu P \exp(-\alpha \frac{x-x_2}{\pi r_2}) \quad (7)$$

$$\sigma(x)=\frac{2\mu P}{\alpha} (-\alpha \frac{x-x_2}{\pi r_2}) \quad (8)$$

式中, $\alpha=\frac{E_r}{(1+\nu_r)E \ln(\frac{d_0}{2r_2})}$ ;  $E_r$ 为围岩体弹性模量;

$\nu_r$ 为围岩泊松比; $d_0$ 为管缝式锚杆有效范围支护直径。

### 2.3 寺庄矿区支护设计

以7号脉破碎区段岩体管缝式锚杆支护为例,采场跨度4~7 m,该区段围岩不稳定,岩层稳定性影响系数取1.2进行理论设计计算,并结合其他矿山实例及本矿区工程实际,确定支护参数如下:

管缝式锚杆:长度 $l=1.8\sim 2.2$  m,外径 $d=42$  mm,壁厚2.0 mm。平面布锚均采用梅花形,支护间距 $\alpha=1.2$  m。锚杆外径与钻孔直径差为2.0~4.0 mm。

管缝式锚杆参数:杆体:外径42 mm,壁厚2.0 mm,缝宽12 mm,挡环距尾端的距离为5.0 mm,挡环焊缝拉脱力为110~140 kN,杆体极限抗拉力为160 kN,锚杆初锚力为40~50 kN/m;托盘:托盘尺寸150 mm×150 mm,锚盘厚5.0 mm,托盘承载力60~70 kN。分析表明,增加管缝式锚杆的直径不一定能够增强锚杆的抗拉拔力,而保证钻孔与管缝式锚杆的直径差可有效提高锚固力。

根据RMR岩体质量评价体系,得出破碎区段岩体质量分级结果并应用于支护设计是可行的。

根据理论计算,寺庄矿区破碎区段推广使用管缝式锚杆,锚杆长度1.8 m,直径42 mm,支护网度为1.2 m×1.2 m,取得良好的效果。采场顶板二次支护率由原来的30%降为5%以下,节省大量劳动力和支护材料。由于顶板锚固效果好,作业人员二次支护率减少及凿岩前检撬浮石时间降低,节省了大量时间,采矿效率由原来140 t/d提升为210 t/d,作业效率提高30%以上。

## 3 结语

(1) 管缝式锚杆能够为支护岩体提供有效主动支护,它将支承载荷作用于岩体,加强围岩的稳定性,发挥围岩的自承能力和支撑能力。

(2) 实践表明,管缝式锚杆对于寺庄金矿床岩体具有良好的锚固支护效果,可为同类型相似矿山提供有益的借鉴。

### 参考文献

- [1] 陆士良,汤雷,黄朝阳,等.锚杆锚固力及锚固技术[M].北京:煤炭工业出版社,1998.
- [2] Davis R L.Sprit-set rock bolt analysis[J].International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts,1979,16(1):1-10.
- [3] Scott J J.The 18th U.S.Symposium on Rock Mechanics (USRMS),1977[C].Denver:Colorado School of Mines Press,1977.
- [4] 莫卿,廖九波,王剑波,等.管缝式锚杆在破碎矿岩采场支护中的应用研究[J].黄金科学技术,2011,19(4):53-55.
- [5] 董金奎,申延,邱俊刚.焦家金矿寺庄矿压岩体节理裂隙调查与矿岩稳定性分析[J].黄金科学技术,2012,20(2):58-61.
- [6] 宋明春,崔书学,杨之利,等.山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义[J].地质与勘探,2008,44(1):1-8.
- [7] 王恩敬,郭广军,赵荣欣,等.山东寺庄金矿床构造——矿化网络结构研究及应用[J].黄金科学技术,2012,20(4):76-80.
- [8] Bieniawski Z T.Engineering Rock Mass Classifications[M].New York:John Wiley and Sons Inc,1989.
- [9] 蔡美峰.岩石力学与工程[M].北京:科学出版社,2002:119-126.
- [10] Coater DF,YU HS.The 2nd Longress of the Internationd S G-itty of Rock mechanics,1970[C].Ottawa:International Society for Rock Mechanics,1970.
- [11] 张仕铮,朱辉.对“管缝式锚杆锚固力计算”一文的讨论[J].有色金属(矿山部分),1984,36(6):56-57,59.
- [12] 杨海清,周小平,张永兴.管缝式锚杆在拉拔荷载作用下受力分析模型[J].岩土力学,2007,28(增):236-240.
- [13] Li C,Stiuborg B.Analytical models for rock bolts[J].Internation Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,1999,36(8):1013-1029.
- [14] 应志民,张洁,尚岳全.锚杆荷载—位移曲线的指数函数模型研究[J].岩土力学,2005,26(8):1331-1334.

## Study on the Application of Split-set Bolts for Fracture Zone Supporting

SI Chengbin, ZHANG Xupeng, DAI Jianglin, ZHAO Chungang, HAN Chunyu

Jiaojia Gold Mine, Shandong Gold Mining(Laizhou) Co., Ltd., Laizhou 261441, Shandong, China

**Abstract:** Due to its advantages, such as well adaptability for various rocks, timely function of active prestress and high efficiency for assembling, split-set bolts supporting technique was widely applied in underground mining engineering. Combined with the production practice of Jiaojia gold mine, the radial and axial stress state in split-set bolt were analyzed based on RMR rockmass quality classification and elastic mechanism. Practice effects of the performance of split-set bolts for surrounding rock supporting in Sizhuang mining area has been introduced. It indicated that the split-set bolts played a good role in supporting gold rock, which could be a reference for other similar mine practices.

**Key words:** split-set bolt; supporting; fracture; Sizhuang mining area

### 2013年中国贵金属年会在广州举行

2013年6月19—20日,中国贵金属年会在广州举行。中国贵金属年会是中国有色金属工业协会金银分会主办、广东省贵金属交易中心有限公司协办的《2013年第七届中国贵金属年会》高层论坛。会议现场中国有色金属协会副会长金银分会会长王健先生致开幕词,他表示,我国是全球最大的黄金和白银的生产国,也是全球最重要的贵金属消费国。2012年我国黄金产量首次跨越了400 t大关,这在过去是不可想象的。我国连续6年蝉联世界产量第一,消费突破了800 t大关,成为世界上继印度之后的第二消费大国,白银也创下历史新高,超过了13 000 t,并继续维持增长态势。

贵金属作为继股市、地产之后的投资新宠,虽然期间偶有投资分歧,但是从目前综合数据和行为来看,市场对于贵金属的追逐热情丝毫不减。包括黄金和白银在内的贵金属不仅是当下的重要保值、增值品种,在时下热门的新兴产业中也有广泛需求。即将举行的第七届中国贵金属年会正是在此种背景下举行的,因此贵金属年会也受到了前所未有的关注。

年会未正式召开前就已经受到了市场广泛关注,本届年会也是在已经成功举办六届的基础上进行,其影响力和辐射力一致被市场高度认同。回顾以往年会,从举办之初到现在,贵金属年会影响力伴随我国贵金属产业快速发展而日益增强。而本届的贵金属年会较以往有不少差别,主要体现在2个

方面。

其一,以往贵金属年会是在我国贵金属衍生品处于萌芽期和酝酿期举行的,老百姓对贵金属衍生品还不是很熟悉。另外,贵金属衍生品市场建设还处于初期或计划阶段,这间接对贵金属年会的影响力也有一定影响。而自从2011年后,我国金融衍生品,特别是贵金属衍生品取得了快速发展,以粤贵银为首的贵金属市场在过去2年以其强劲的发展速度不断吸引投资者,并且也填补了国内贵金属市场多个空白,从而间接扩大了贵金属年会的辐射力和影响力。

其二,本届年会首次在广州举行,据了解,本月广州举行的会议不止贵金属年会,更有第二届中国金融交易博览会的召开。广州大有成为我国“金融产业基地”之势。广东在地理、人文、政策都具有多重优势。粤贵银市场的快速发展也印证了广东金融产业的快速发展,也诞生了一些具有代表性的龙头企业。粤贵银行业领军企业,广东嘉泰贵金属自成立以来,以其不断进取的创新精神和研发实力,在综合业务方面始终位居行业前列。爆发性成长的背后,自然也离不开区域、政策的强劲支持。

本届年会参会代表包括国内外贵金属矿山、冶炼和精炼、加工等企业、首饰生产商,国内外科研与开发机构;贵金属进出口贸易商,国内外投资及金融机构、市场咨询机构等。会议围绕贵金属宏观分析、产业分析、政策解读及贵金属市场交易策略进行了详细报告和剖析。